應用於水稻精準農業體系之知識與技術
精準農業水稻產量分佈偵測系統
179-192, 2002

14 精準農業水稻產量分佈偵測系統

盧福明[1] 蔡致榮[2] 張福祥[3] 黃國祥[2] 林連雄[4] 林達德[1]
[1]國立台灣大學生物產業機電工程學系
[2]行政院農業委員會農業試驗所農工組
[3]國立岡山農工職校生物機電科
[4]國立宜蘭技術學院生物機電系
E-mail:lufuming@ccms.ntu.edu.tw

摘 要 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 180
壹、前　　言 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 181
貳、文獻探討(國外產量分佈偵測系統) －－－－－－－－－ 181
參、材料與方法(國內水稻產量分佈偵測系統研究現況) － 183
肆、結論 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 188
伍、引用文獻 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 188

14 精準農業水稻產量分佈偵測系統

盧福明[1] 蔡致榮[2] 張福祥[3] 黃國祥[2] 林連雄[4] 林達德[1]

[1] 國立台灣大學生物產業機電工程學系

[2] 行政院農業委員會農業試驗所農工組

[3] 國立岡山農工職校生物機電科

[4] 國立宜蘭技術學院生物機電系

E-mail:lufuming@ccms.ntu.edu.tw

摘　要

本文目的爲探討精準農業作物產量分佈偵測系統應用於國內本土性水稻生產的現況。國外雖有其他穀物產量分佈偵測系統之開發，但應用於東洋式水稻聯合收穫機之產量分佈偵測系統之研究仍待開發。本文除了探討定點產量即時監測與圖化技術之國外相關經驗與資料，並報告國內近年來相關研究成果。爲了監測產量的空間變異，在臺灣使用之聯合收穫機至少必需安裝定位、穀流量測與穀粒含水率量測之資料擷取系統。應用久保田R9101G五行式（割寬1.6公尺）水稻聯合收穫機裝設下列元件製作田間產量圖：穀物流量感測器、穀物水分計、資料擷取系統、液晶顯示幕、行走速度感應器、擷取爪啓動感應器、及GPS全球定位系統。聯合收穫機裝配GPS全球定位系統與穀物產量和水份感測器之田間測試結果，已可連續紀錄單位時間內所收割稻穀重量、水分及收穫機地理座標資料。整理上述三項資料之後即可應用軟體繪出水稻田區產量分佈圖，判斷高低產量的確定位置，供農場經營決策之參考。水稻產量分佈偵測系統之定位誤差在1公尺以內。民國九十年五月到十一月之間共進行十九次稻田收穫試驗，包括農試所精準農業試驗田五次，其他爲台南縣、高雄縣和屏東縣水稻田。測試結果可記錄田區水稻產量及稻穀水分含量，準確度介於80-90%之間。提升精確度之校正工作尙待進一步研析。

關鍵詞：精準農業、產量圖、全球定位系統、感測器、水稻聯合收穫機。

壹、前言

精準農業(Precision Agriculture)乃是針對農田及植栽的變異性給予最適當的耕作決策與處理，以減少資財之耗費，增加收益並減輕環境的衝擊。傳統農耕方式將整個田區之作物、土壤等特性視爲均一，故無論是灌溉水量、肥料或是農藥之施用量，均是針對整個田區施用(盧，2000)。精準農業利用衛星定位系統(GPS)，地理資訊系統(GIS)配合農業自動化科技執行既定之耕作策略。例如針對發生病蟲害或有雜草的局部田區實施帶狀施藥(patch spraying)。另例如自動記錄分析各別小田區的作物產量與耕作處理間的相關性，以做爲農場經營決策的參考，亦屬於精耕農業的範疇。

本文目的爲探討精準農業作物產量分佈偵測系統應用於國內水稻生產的現況。國外雖有其他穀物產量分佈圖偵測系統之開發，但應用於東洋式水稻聯合收穫機之產量分佈偵測系統之研究仍待開發。本文亦探討定點產量即時監測與圖化技術之國外相關經驗與資料，供開發適合國內水稻收穫用之定點產量及水分即時偵測系統之參考，以便結合衛星定位系統(GPS)製造國產儀器設備提供田區產量分佈系統，供農場管理決策分析用。

田間作物產量監測方法以穀物爲例，如圖1方塊圖所示，主要包括監測主控器、定位GPS感測器、穀流感測器、穀物水份感測器、穀物揚升機速度感測器、啓動/暫停感應器與收穫機速度感測器。

貳、文獻探討(國外產量分佈偵測系統)

經由相關文獻與資料之蒐集分析，得到定點產量即時監測與圖化技術之國外相關經驗與資料如下述。

一、美國水稻定點農耕研究

德州農工大學農工系Searcy氏與農業試驗站Stansel氏從1996年6月至1999年8月間(涵蓋四個水稻產季)進行一項水稻產

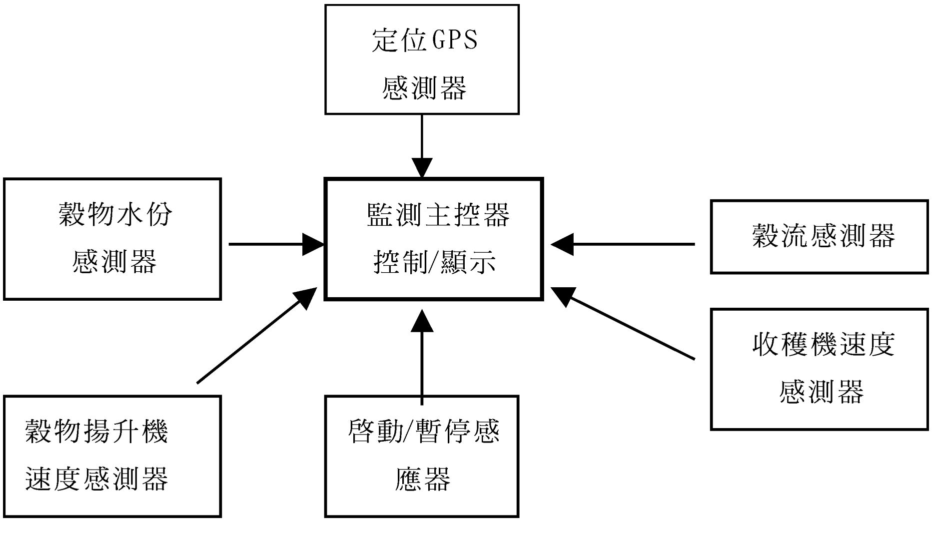

圖1. 田間收穫穀物之產量監測系統方塊圖。

量圖化計畫，其第一年在建立產量圖化技術，而接著三季則於農戶之用地進行農藝試驗。該計畫之主要目的係在德州水稻帶建立產量圖化技術，以方便對農戶用地之試驗區進行產量、處理施用與偵察資料之圖化與相關性分析工作，最終目的爲開發具地理參考基準之水稻田用田間偵察設備。計畫執行期間，三個農戶使用Case聯合收穫機與Case公司所生長之圖化組件Advanced Farming System，另一農戶與在Beaumont之德州農業試驗站則使用John Deere 聯合收穫機與Green Star圖化組件。

Michigan州立大學1996年對產量監測器之評估，針對玉米產量以稱重車輛來量測並與感測器所得產量作比較，其於每個農地進行大約20次連續之收穫作業，指出每次收穫產量監測器之變異在3%（含）以上，而產量監測器與稱重車輛估測值間之總差異在0.2%至5%間。而田間坡度改變與進料機構堵塞造成穀物流脈動現象乃是產量監測器不準之原因(Anonymous, 1997)。

二、澳洲水稻產量圖化技術

1995年RDS公司捐一個Ceres 2產量監測器與Hermes資料記錄器給澳洲Longerenong學院，其乃澳洲之第一顆產量監測器。在1996年四月當水稻開始收穫時，研究人員覺得把產量監測器裝到水稻聯合收穫機可獲得相當之經驗，因此在New Holland公司與稻農協會之協助下，此RDS公司之產量監測器、資料記錄器以及Fugro公司之DGPS被裝至New Holland TX66型水稻聯合收穫機上。很不巧地，由於資料記錄器與DGPS之問題，第一年並無具地理參考基準之資料被收集，但產量與稻穀含水率資料則被以Excel軟體記錄與分析，在13處地點與時期紀錄多過10,000筆產量與含水率資料。該試驗地區(Denis Gleeson)之800公頃水稻田大部份係種植在不同等高線農地上，具有非常不規則之形狀 (Williams, 1997)。

1997年Bert Schultz地區之水稻，以裝在Claas CS 114聯合收穫機上之AgLeader產量監測器與Fugro公司之DGPS進行產量圖化研究工作，不像Denis Gleson地區之田地，Bert Schultz之水稻田係以雷射輔助整平，並具長方形佈局。該年度收集到地理參考基準之資料，並進行產量圖繪製及產量與含水率變異之分析。

在小而不規則形狀之水稻田量測產量，監測器以收穫頭全寬度來計算產量會有缺失。雖然大部份產量監測器都有裝置可以轉換收穫頭寬度，但是通常都不方便使用。在某些田區大約30%的時間係花在調整與變動收穫頭寬度。所有採用之產量監測器中，只有RDS公司之產量監測器具備遙控轉變裝置來改變收穫頭寬度，雖然只有四段收穫頭寬度，卻是最方便操作的一型。

使用產量監測器進行產量之量測與噴霧霧粒大小之量測具有若干相似處，通常量測霧粒的設備會量測幾千個個別霧粒之直徑，而產生大量之數據資料，於太大與太小霧粒之極端情形下其量測誤差大多取決於所使用儀器之型式，這與以產量監測器量測產量相類似，其也具大量資料，且非常低與非常高之產量值可能與收穫機動態造成之大量誤差有關。因爲收穫機速度減慢時，產量監測器會顯示高產量，因此，即使前進速度是低的，稻穀流量卻仍是高的，相反的情形則會於收穫機突然加

快速度時發生。大部份之產量監測器都會設定偏差值以嘗試彌補此缺點，但都相當不成熟。

假如稻穀並未完全覆蓋感測器之作用平板，穀物含水率之讀值會受到低穀物流量影響，這通常在收穫頭空轉某些時間後發生，但儘管在只使用部份收穫頭寬度時，通常都有足夠之穀物流以獲得正確之讀數。水份計以揚升器穀物含水率讀數爲主，其結果合理而正確度在20%附近，RDS公司產量監測器之含水率讀數增量爲0.5%，當讀數遠離16－24%之範圍時，準確度喪失。在1996與1997年之兩收穫季中，含水率變動都相當大。含水率係水稻收購產業與農民之一項主要爭論問題。收穫時使用穀物含水率感測器可使農民避免遞送太濕穀物至處理場而遭罰款。

對種植在不規則形狀水田上水稻之產量監測，因作業時一直改變收穫頭寬度而不準確，在此種情形下倘欲因使用產量監測技術而獲取最大利益，自動改變收穫頭寬度的感測器或處理產量圖之其他方法是必需加以考慮的。倘若產量監測器從裝在輪子上之感測器來計算行進速度，當在非常泥濘之情形下，輪子打滑或下陷都將增加產量預估之誤差，因此由GPS系統提供之速度值是較正確的。收穫機行走中使用水份感測器的準確度對農民而言是很重要的。收穫時水稻產量與含水率變動相當大，其意味著水稻產業使用定點管理技術具備獲利之潛力。

三、產量分佈圖相關研究

Wagner與 Schrock(1987,1989)使用螺旋機決定作物產量，指出收穫頭開始吃進作物與眞正穀流量測間之時間延遲，可以輸送延遲表示穀粒由收穫頭移動至淨穀筒之時間，可以一階時間延遲來計算收穫機內穀物之重新分配；實驗室測試穀流，就乾穀(10至19.2% w. b.)而言係成線性反應，惟當穀物含水率增加時則呈現非線性反應，其起因於螺旋機內穀物滑動量隨著體積增加而增加，尤其當較高穀物含水率時。

Perez-Munoz and Colvin (1996)評估AgLeader Technolgy公司Yield Monitor 2000指出此種產量監測器值得信賴，可提供足夠準確之資訊繪製產量圖，惟產量信號需適當處理以修正時間延遲，而可能的兩種延遲來源爲穀物於收穫機內移動之時間及信號盈起與衰減之時間。

Birrell氏等人(1996)比較兩型產量感測器(撞擊式質量流量測使用AgLeader Yield Monitor 2000，而體積流量測使用Claydon Yieldometer，指出在收穫機動態穀流之模式化上，簡單時間延遲與一階模式皆合理，但簡單時間延遲模式優於一階模式。簡單時間延遲模式較不受雜訊影響，但當收穫機進出作物時不能準確將產量之階梯變化加以模式化；相反地，一階模式可妥善模式化產量之階梯輸入，但受雜訊影響而需對原始資料作平滑(smoothing)處理，使用完整資料製作產量圖時瞬間產量之克利金處理(Kriging)相當健全耐用。

參、材料與方法(國內水稻產量分佈偵測系統研究現況)

國立台灣大學生物產業機電工程學系、行政院農業委員會農業試驗所農工組、國立岡山農工職校生物機電科和國立宜蘭技術學院生物機電系所組成的研究團隊，

自1999年開始進行水稻產量分佈偵測系統之研究。

產量分佈偵測系統爲顧及產量監測系統應用普及性及技術整體性，並考量國內水稻收穫環境多潮溼與高含水率情形，監測組件容易因堵塞或積污而不正常作動，因此必須考慮容易拆卸清理與安裝的特點。產量分佈偵測系統包括監測主控器、穀流感測器、穀物水份感測器、穀物揚升機速度感測器、啓動/暫停感應器與收穫機速度感測器如圖2所示(盧等,2000)。收穫中，系統啓閉磁性感應器察覺到有稻桿被夾入脫穀筒時才開始將各感應器所讀到的數據存入數據收集器內，包括收穫機前進速度、地理位置、水稻含水量和水稻流量。

國內水稻聯合收穫機目前使用較多之主力機型爲三菱VG65型、久保田R9405G型與野馬牌GC85型，其規格與性能概略比較如表1所示。爲因應未來精準農耕技術推展之需，大割寬與高作業能率之機型乃大勢所趨，有必要進行國內水稻聯合收穫機使用機型、數量與穀物流動向之調查，冀以決定配合定點產量即時監測試驗所需之適合機種。

台大生物產業機電工程學系自1999年起在久保田R9101G五行式水稻聯合收穫機上裝設產量分佈偵測系統(圖2和圖3)，並於2000年購置野馬牌GC85型聯合收穫機乙部以進行後續相關試驗。久保田R9101G五行式（割寬1.6公尺）水稻聯合收穫機上裝設下列元件以便偵測田間產量：穀物流量感測器（Micro-Trak，CGS 2000），穀物水分計（DMC儀器），資料擷取系統（Micro-Trak，TNG-100，和Data-Trak TNM-1000），液晶顯示幕（Grain-Trak TNY-4400），行走速度感應器，擷取爪啓動感應器，和GPS（航天公司 DGPS-220）。

農業試驗所農工組與台大爲了共同研發適用國內小穀流水稻聯合收穫機產量與穀物水份感測器基本試驗需求，亦購置野馬牌GC85型聯合收穫機淨穀輸送相關零件，建立試驗室動態產量監測試驗台一

表1. 國內水稻聯合收穫機主力機型之比較。

廠牌型號	三菱牌VG65型	久保田牌R9405G型	野馬牌GC85型
機體長寬高	442/202/225 cm	482/283/279 cm	458/210/265 cm
總重	3070 kg	3449 kg	3790 kg
駕駛室	無	附冷氣駕駛室	附冷氣駕駛室
汽缸數/總排氣量	4缸/ 2476cc	5缸/2499 cc	4缸/3455 cc
引擎馬力	73 PS/ 2800rpm	75 PS/2800 rpm	85 PS/2600 rpm
割寬/行數	1650-1700 mm/5行	1950-2025 mm/6-7行	1975 mm/6行
儲穀倉容量	1500 L	1850 L	1850 L
作業能率	每分地9-14分鐘	每分地9-13分鐘	每分地7-10分鐘
價格	185萬	226萬	260萬

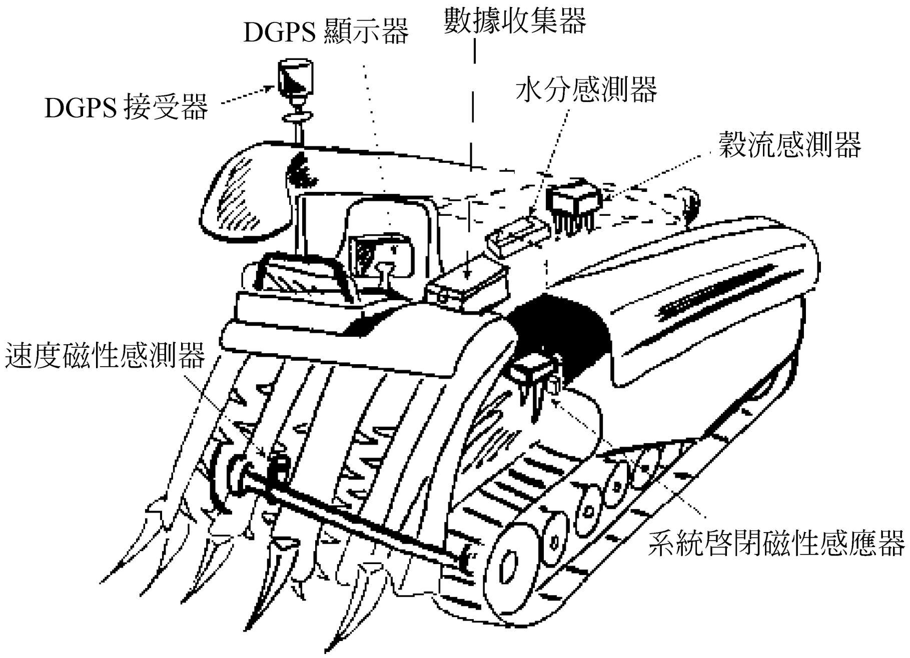

圖2. 收穫機上感測器裝設點。

圖3. 久保田R9101G聯合收穫機裝設產量分佈偵測系統田間作業情形。

座，冀望用以探討不同稻穀含水率與供料率下相關感測器(引進或國內自製)之反應，並提供作爲感測器校正台。

2001年五月到十一月之間共進行十九次稻田收穫試驗，包括農試所精準農業試驗田五次，其他爲台南縣、高雄縣和屏東縣水稻田如表2所示。測試結果可記錄田區水稻產量及稻穀水分含量，準確度介於80-90%之間。提升精確度之校正工作尚待進一步研析。

目前所用的GPS衛星定位軟體之介面設計相當友善，容易修改。應用時亦能夠充分掌握技術，不受委託廠商之影響。在Selective Availability解除以後定位精確度爲1-2公尺以內。收穫機可收五行，讀到的數據包括收穫機前進速度、地理位置、

表2. 2001年田間收穫記錄。

項目 / 次別	收割日期	收割地點	收割面積 (公頃)
第一次	5月11日	高雄區改良場	0.21
第二次	5月29日	高雄區改良場	0.29
第三次	6月9日	高雄縣岡山鎮	0.25
第四次	6月16日	高雄縣岡山鎮	0.35
第五次	6月19日	高雄縣岡山鎮	0.26
第六次	6月12日	高雄縣阿蓮鄉	0.42
第七次	6月23日	高雄縣阿蓮鄉	0.38
第八次	6月28日	農業試驗所	0.50
第九次	6月29日	農業試驗所	0.50
第十次	7月14日	台南縣七股鄉	0.24
第十一次	7月28日	台南縣七股鄉	0.19
第十二次	8月5日	台南縣七股鄉	0.13
第十三次	10月14日	高雄縣橋頭鄉	0.17
第十四次	10月21日	高雄縣橋頭鄉	0.17
第十五次	11月10日	高雄縣橋頭鄉	0.10
第十六次	10月27日	高雄縣路竹鄉	0.14、0.22
第十七次	11月19日	農業試驗所	0.50、0.50
第十八次	11月20日	農業試驗所	0.50、0.50
第十九次	11月22日	農業試驗所	0.50

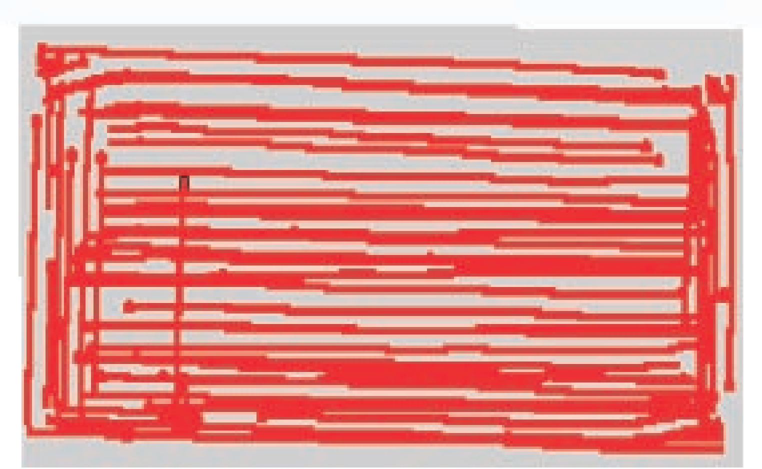

圖4.　水稻收割軌跡圖(農試所78號田區90.11.19)。

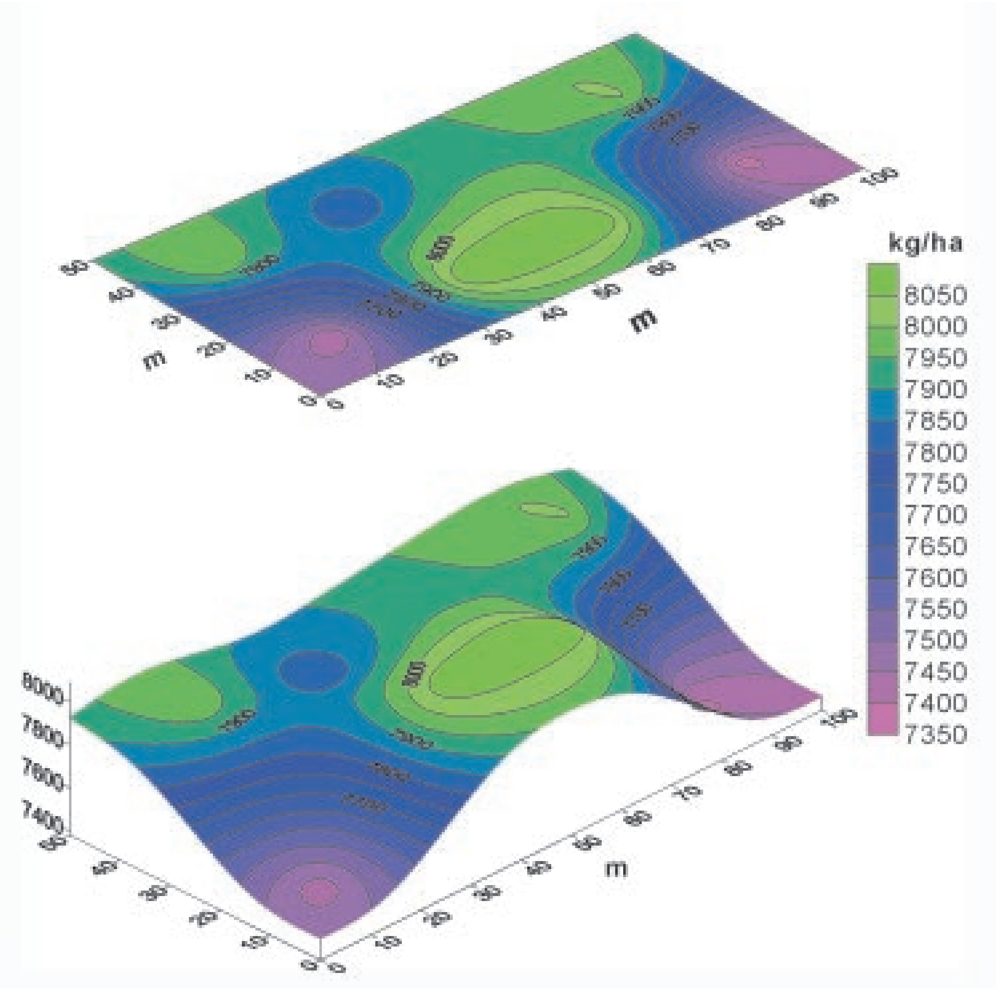

圖5.　農業試驗所田間收割產量分佈圖(39號田區)。

水稻含水率和水稻流量。

田間試驗在機械之穩定度與耐久性方面，經幾次試驗修改後，已達要求，可記錄所有感應器所讀到的數據。使用水稻產量偵測系統在進行產量偵測時，須先進行作物之密度(Crop Density)、含水率偵測器之偏移值(Moisture Sensor Offset)、產量偵測器之校正(Flow Sensor Calibration)等設定，以確保產量偵測之準確性。收割面積、含水率偵測、產量偵測等，都可經微調使得偵測值更接近實際值。

產量分佈圖及收穫機在田間運轉之軌跡圖如圖4和圖5所示。圖5爲田區長100公尺、寬50公尺(0.5 公頃)之產量分佈等高線圖、各小區塊溼穀產量介於7,350公斤/公頃到8,100公斤/公頃，本塊田平均溼穀產量爲7,867公斤，稻穀含水率爲20.5%。

肆、結　論

本文探討國內水稻收穫用之定點產量及水分即時偵測系統之現況，並分析國外有關農作物產量分佈偵測系統之應用。國內已在久保田R9101G五行式（割寬1.6公尺）水稻聯合收穫機上裝設下列元件以便測量田間產量圖：穀物流量感測器、穀物水分計、資料擷取系統、液晶顯示幕、行走速度感應器、擷取爪啓動感應器、和GPS系統並已進行多次田間測試。目前所用GPS衛星定位軟體之介面設計相當友善，容易修改。在Selective Availability解除以後定位精確度爲1-2公尺以內。水稻聯合穫收穫機可收五行，讀到的數據包括收穫機前進速度、地理位置、水稻含水率和穀物流量。

台大及農試所所用產量分佈偵測系統對於收割面積、含水率偵測、產量偵測等，都可經微調使得偵測值更接近實際值。經過十九次田間收割試驗, 測試結果可記錄田區水稻產量及稻穀水分含量，準確度介於80-90%之間。提升精確度之校正工作尚待進一步研析。

雖然國外有關產量分佈偵測系統的應用都偏重於大型西洋式聯合收穫機，其感測元件構造機能及使用經驗仍可應用於未來開發國產產量分佈偵測系統元件之參考依據。

伍、引用文獻

1. 盧福明。2000。精準農業體系之農機研發趨勢。刊於水稻精準農業(耕)體系之研究。p.106-109。楊純明、林俊義主編。行政院農業委員會農業試驗所出版，台中縣霧峰鄉。
2. 盧福明、蔡致榮、張福祥、黃國祥、林連雄。2000。精準農業自動農機操作系統之開發期末研究報告。國立台灣大學生物產業機電工程學系。
3. Anonymous. 1997. Evaluation of yield monitors. Michigan report, NCR-180.
4. Williams, B. 1997. Rice yield mapping. Symposium on precision agriculture research in Australia. July, 1997.
5. Wagner, L. E. and M. D. Schrock. 1987. Grain flow measurement with a pivoted auger flow sensor. Transactions of the ASAE 30(6): 1583-1586.
6. Wagner, L. E. and M. D. Schrock. 1989. Yield determination using a pivoted auger flow sensor. Transactions of the ASAE 32(2): 409-413.

7. Perez-Munoz, F. and T. S. Colvin. 1996. Continuous grain yield monitoring. Transactions of the ASAE 39(3): 775-783.
8. Birrell, S. J., K. A. Sudduth and S. C. Borgelt. 1996. Comparison of sensors and techniques for crop yield mapping. Computers and Electronics in Agriculture. 14: 215-233.

14 The Rice Yield Mapping System

Fu-Ming Lu[1], Jyh Rong Tsay[2], Fu-Shang Chang[3], Kuo-Hsiang Huang[2], Lian-Hsiung Lin[4] and Tate Lin[1]

[1] Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, ROC

[2] Department of Agricultural Engineering, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

[3] National Kang-San Vocational School, Kaohsiung 820, Taiwan, ROC

[4] Department of Bio-Mechatronics, National I-Lan Institute of Technology, I-Lan 260, Taiwan, ROC

E-mail:lufuming@ccms.ntu.edu.tw

ABSTRACT

The objective of this paper was to study the application of rice yield mapping system for local rice production in line with precision agriculture. Although there are several grain mapping systems in use in other countries, the mapping system for oriental rice combine is still under developing stage. This paper reviewed development of mapping system in foreign countries and reported the up-to-date research activities on local rice mapping system in past years. In order to monitor the yield spatial variations, the local rice combine available in Taiwan has to be equipped at least with data acquisition system for locating and measuring grain flow and grain moisture. A Kubota R9101G 5-row combine (cutting width 1.6 m) has been equipped with the following instruments such as grain flow sensor, moisture sensor, data acquisition system, display monitor, speed sensor, run/hold sensor and GPS to study rice yield mapping system suitable in Taiwan. Based on the information collected from these sensors, rice yield map can be produced by an application software and served as a criterion in farm management decision making. The GPS offset in locating the harvester is within 1 meter. Nineteen field harvesting tests had been completed between May and November, 2001. Five field tests were conducted at precision farm of Taiwan Agricultural Research Institute. Other tests were conducted at

Tainan, Kaohsiung and Pingtung counties. Although yield and moisture content of harvested rice can be monitored by the yield monitor at 80-90% accuracy, further calibration works are required to upgrade the accuracy of the yield monitoring system.

Key words: Precision agriculture, Yield map, GPS, Sensor, Rice combine.